

2. 集中豪雨に対するのり面の安定に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 27～平 29

担当チーム：土質・振動チーム

研究担当者：佐々木 哲也、加藤 俊二、
小栗ひとみ

【要旨】

本研究では、植生工を主体としたのり面保護工による土砂流出・表層崩壊の抑制効果について、施工直後から根系の活着により保護工が成立するまでの間の変化状況を含めた降雨に対する性能の変化を明らかにするとともに、植生の生育状況を考慮した表層すべりに対する効率的・効果的な補助工法の考え方を提案することを目的として、盛土のり面で一般的に行われている張芝工に着目して実験検討を行った。

その結果、十分な土砂の緊縛効果を得るには6か月程度の生育期間が必要であること、補助工法として碎石混合および排水層を設けることで根系の未成育期間ののり面の安定を図ることが可能であることがわかった。

キーワード：集中豪雨、植生工、生育期間、安定確保、補助工

1. はじめに

近年の降雨強度や降水量の増加に伴い、これまで顕在化していなかったような施工直後の盛土のり面の表層部での崩壊が生じ、近接する道路や施設等に土砂等が流出するとともに人的被害も発生している。

これらの被害を踏まえて、河川堤防においては、施工・品質管理に関する留意事項について通知が出されるとともに、のり面の施工法に関して試験的な取り組みが始められている。

一般に盛土のり面では環境・景観への配慮から播種や張芝等による植物を用いたのり面保護が実施されているが、施工直後には植物の生育が不十分であり表層部の土砂流出・崩壊を抑制する効果が十分に発揮されない可能性が高く、施工直後を含めた豪雨に対する盛土のり面の安全性確保のための具体的な対応が求められている。

上記のような表層すべりに対して通常ののり面保護工や補助工法を選定して対策を実施すると、一般にコンクリート張工やのり枠工等の構造物が主体となり環境・景観の悪化が懸念される。

このため、環境・景観に配慮しつつ、のり面の土質、構造、施工法や植生の生育状況毎の被災形態に応じた適切な工法の選定が求められている。

本研究では、植生工を主体としたのり面保護工による土砂流出・表層崩壊の抑制効果について、のり面の施工方法、のり面の構造（土質、排水等）に応じて、施工直後から根系の活着により保護工が成立するまでの間の変化状況を含めた降雨に対する性能

の変化を明らかにするとともに、環境・景観に配慮しつつ、それらの状況を考慮した表層すべりに対する効率的・効果的なのり面保護工法、補助工法の選定の考え方を提案することを目的として実施した。

2. 研究方法

2.1 根系の緊縛効果に関する模型実験

一般的に行われている植生工の一つである張芝工に着目し、施工後の芝の生育による根系の発達状況と降雨に対する土砂保持効果を把握することを目的とした、小型模型実験を行った

(1) 小型土槽の作製および張芝の育成管理

降雨実験により張芝の根系の発達による土砂保持効果を確認するため、図1に示す幅30cm×深さ30cm×奥行き60cmの小型の木製土槽を作製した。長辺側の側壁の1面については根系の生育状況や降雨実験における土砂流出状況を確認するためアクリル張りとし、底面は降雨により滞水しないように排水機能を持たせる有孔板とした。また、短辺側の側壁の1面については、降雨実験で強制的に土砂が排出されるように上端から15cmの位置で取り外しができるように2分割とした。

実験には、降雨により侵食しやすい山砂（土粒子密度：2.689(g/cm³)、細粒分含有率：30%）を用い、最適含水比に調整したうえで締固め層厚5cm締固め度90%で管理して土を詰め張芝を行った。張芝は野芝を用い、秋施工を行った場合の芝の休眠期間を考慮して実験を行うため12月に敷設した。また、(2)

で示す降雨実験を行うまでは、写真1のように屋外にて育成管理し、枯死しないようにつくば（館野）のアメダスにおいて前3日間の累積で10mm以上の降雨が無い場合に散水を行った。

(2) 降雨実験の概要

降雨実験を行う時期については、関東平野部での芝の生育特性による植栽適期¹⁾を踏まえると、生育期は4月～10月程度が想定され(写真1の生育状況ともほぼ一致)、4月に生育期に11月に休眠期に入る前提として、①生育期に入る直前の休眠期間中の3月(敷設後3か月経過時)、②生育期3か月経過時の7月(敷設後7か月経過時)、③再度休眠期に入り冬枯れしている時期を想定した1月(敷設後1年1か月経過時)に実施した。1回あたり2つの土槽を用い、土槽に設けた短辺上部15cm部分を取り外して開放した状態で30度勾配に傾斜させ、降雨により開放部分から流出した土砂を受け止めるためのコンテナを設置し、時間雨量(50mm/h)の降雨を4時間継続して累積200mmを与え、その間の土砂流出状況の観察を行った。

2. 2 補助工法に関する模型実験

植生基盤として耐降雨性を有するのり面を構築するための簡易な補助工を提案することを目的とし、土羽の構造を変えた盛土模型を作製し、耐降雨性の比較実験を行った

実験模型は、図2に示すような盛土のり尻付近を模擬したもので、形状は盛土本体の高さ1m、のり面鉛直方向の土羽厚を0.3mとし、幅2m、のり面勾配1:1.5である。

実験模型の構造は、基盤層および盛土本体を透水性の低い粘性土(関東ローム:最大乾燥密度0.818(g/cm³))とし、土羽の構造を①ケース1(比較基準):降雨により侵食しやすい山砂単体(最大乾燥密度1.809(g/cm³)、細粒分含有率30%)、②ケース2:土羽10cmを市販の5号砕石および6号砕石を質量比で1:1混合したもの(比重2.65。以下、砕石と呼ぶ)で排水層としたもの、③ケース3:土羽10cmを砕石および山砂を質量比で1:2混合したもの(以下、砕石混合土と呼ぶ)、④ケース4:土羽30cmすべてを砕石混合土としたもの、の4ケースである。

模型の作製方法は、土を最適含

水比に調整したうえで、盛土本体を水平方向に層厚10cm 締固め度90%で管理して構築し、土羽につい

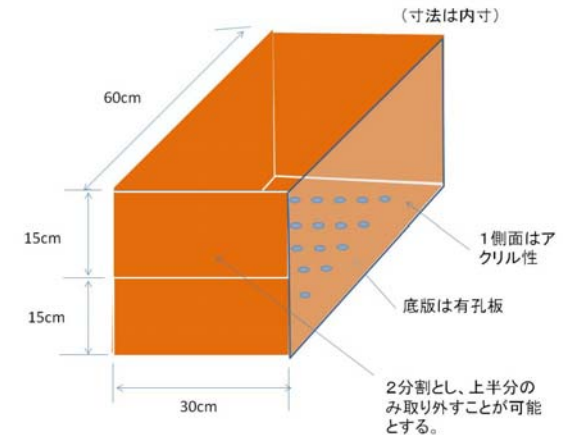


図1 小型土槽のイメージ図



(a)2016年3月の状況(休眠中)



(b)2016年5月の状況(生育中)



(c)2016年10月の状況(生育期末)



(d)2016年11月の状況(休眠期)

写真1 屋外での育成管理状況

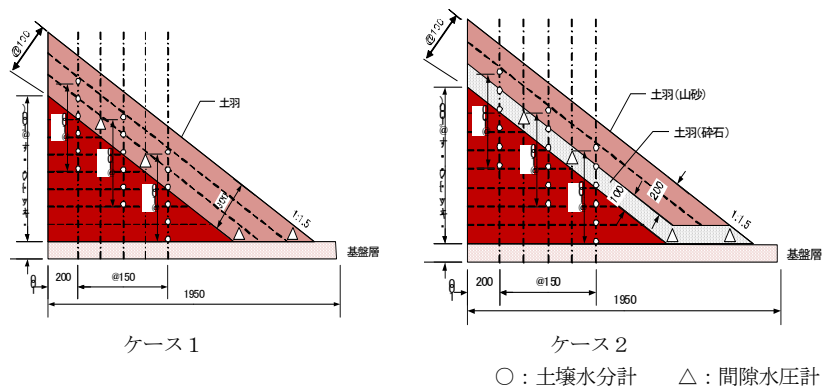


図2 実験模型図例(ケース1、ケース2)

ては土の部分の締固め度 85%で所定の厚さとなるようにのり面鉛直方向に構築した。なお、ケース2の排水層となる砕石については所定の厚さとなるように敷均しを行った。また、降雨による水の変化を把握するため、盛土本体と土羽との境界を基準として上下の締固め層の上面に6箇所3断面に土壌水分計を、のり尻部およびのり面部の土羽境界面上4箇所に間隙水圧計を設置した。さらに、のり面表面は張芝を想定して親水性のある侵食防止シートで保護し、雨滴による侵食が生じないようにした。

降雨実験は、時間雨量 20mm 4 時間、50mm 4 時間、100mm 4 時間を 7 日間隔で段階的に与えて、のり面の状況（侵食・崩壊等）について観察を行った。

3. 研究結果

3. 1 根系の緊縛効果に関する模型実験結果

写真2に(2)で設定した実験時期ごとの降雨時の代表的な土砂流出状況および実験後に洗い出した芝の根系の生育状況について示す。土砂流出状況と張芝の根の発達状況を整理すると以下のとおりある。

(a) 生育期に入る直前の休眠中(3月)の状況

降雨開始後3分程度で土砂の流出が始まり、1時間程度で土槽の1/4程度が流出し、その後も表面流により少しずつ土砂が流出した。2つの土槽の土砂流出率の平均値(以下、土砂流出率)は23.0%であった。秋施工で休眠中の状態では芝の根の生育がないため、土砂の保持効果もないことがわかる。

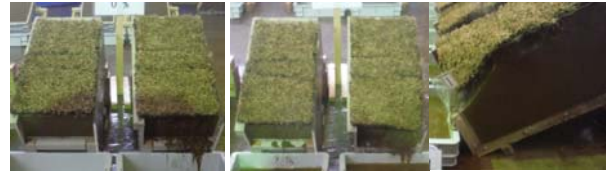
(b) 生育期3か月経過時の生育中(7月)の状況

前述(a)同様、降雨開始後から少しずつ土砂の流出が見られたが流出の進行は遅く、降雨4時間経過時で奥行き15cm程度までの流出(写真2(b)中破線)で、土砂流出率は4.3%であった。約3か月の生育期間で、太い根が約4cmピッチで長さ15~20cm程度と開口部よりも深い位置まで生育しており、その効果により流出が遅延したと考えられるが、毛細根はほとんど見られず土砂を十分に保持できるまで生育はしていないものと考えられる。

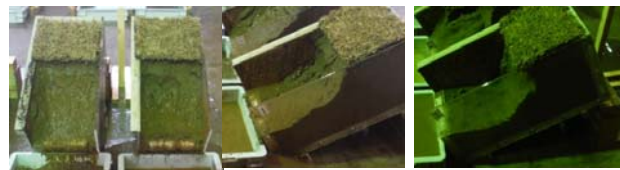
(c) 生育後の休眠期の冬枯れ時(1月)の状況

土砂の流出はほとんどなく、降雨によりオーバーハング部の土砂が若干崩落した程度で、土砂

流出率は0.7%であった。生育期間約7か月を経ると、(b)と比して太い根が全体的に増えて長さも30cm~35cm程度まで成長し、さらに深さ15cm程度までは毛細根が発達して絡みあう状態となっており、毛細根の発達が土砂保持に大きく寄与したものと考

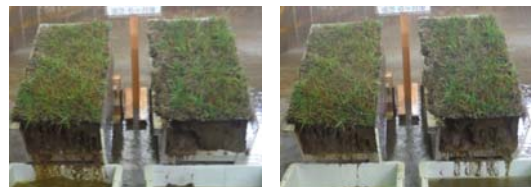


3分後(正面) 30分後(正面・側面)



1時間後(正面・側面) 4時間後(側面)

(a) 生育期に入る直前の休眠中(3月)



30分後(正面) 1時間後(正面)



4時間後(正面・側面) 根の生育状況

(b) 生育期間3か月経過後の生育中(7月)



30分後(正面) 4時間後(正面)



4時間後(側面) 根の生育状況

(c) 生育後の休眠期冬枯れ時(1月)

写真2 土砂流出および根の生育状況

えられる。

3. 2 補助工法に関する模型実験結果

本実験に先立ち予備実験として実験降雨に対して各土羽構造で表層の侵食が生じないことを確認する目的で、盛土本体および基盤層を山砂で構築して基盤層で排水し浸透水による水位上昇が生じにくい条件で上記4ケースと同様の土羽構造で降雨実験を行い、いずれの構造でも変状が生じなかったことを確認している。

写真3に、本実験で各ケースに変状が発生した降雨時ののり面の状況を示す。降雨と変状の推移は以下のとおり。〈ケース1〉時間雨量 20mm で、降雨開始から1時間半でのり尻付近が泥濘化。降雨開始から3時間でのり尻部で崩壊が発生。4時間経過でのり面の約6割が流失した。降雨実験は終了。

〈ケース2〉時間雨量 20mm、50mm では変化なし。100mm で30分経過時にのり面中腹付近で侵食が発生。同位置で徐々に排水層付近までえぐられるように侵食域は拡大するが崩壊は生じず、範囲は限定的であった。

〈ケース3〉時間雨量 20mm、50mm では変化なし。100mm で20分経過時に砕石混合土上部の山砂が泥濘化・はらみ出し、30分でのり尻部が砕石混合土上

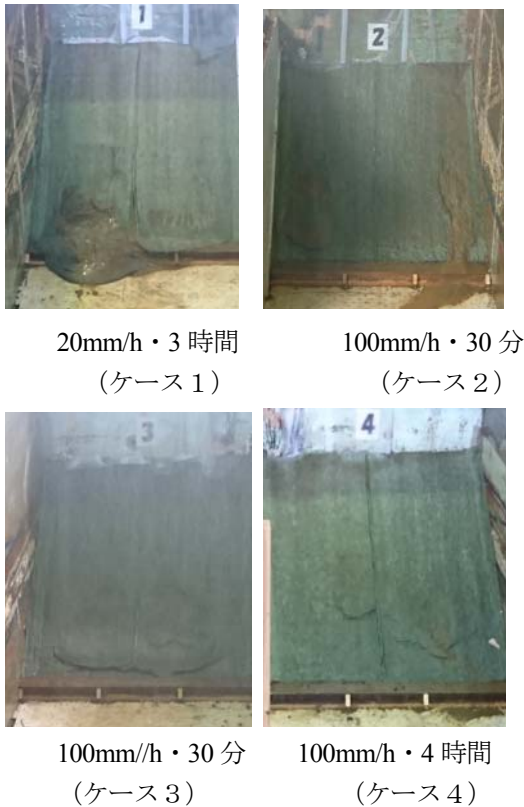


写真3 変状発生時降雨とのり面状況

部で崩壊。4時間でのり面の7割が流失したが、砕石混合層は残存していた。

〈ケース4〉時間雨量 20mm、50mm では変化なし。100mm で2時間経過時点に表面の一部で侵食が発生したが、4時間経過時でも限定的な範囲で深さも2~3cm程度であった。

図3に、変状が見られた降雨での各ケースの水位変化の例として盛土本体のり尻付近での状況を示す。崩壊が生じたケース1、ケース3の水位状況を見ると崩壊開始時の水位が10cm程度(計測位置盛土高さの約1/3)であり、この値が排水層の厚さの一つの目安と考えられる。

ケース2の変状状況を見ると砕石の排水層の効果は大きくすべり的な崩壊は抑制されているが、山砂のような侵食しやすい材料では施工上生じるムラや上方からの表流水などの影響による表面侵食への対応が必要と考えられる。

図4に、例としてケース1および4の土羽部ののり尻の飽和度の変化状況(土羽境界、上10cm位置、

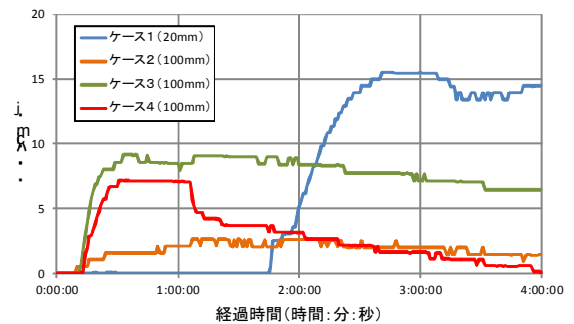
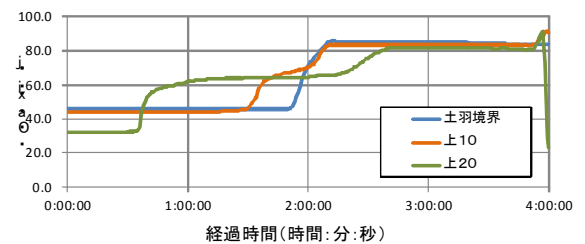
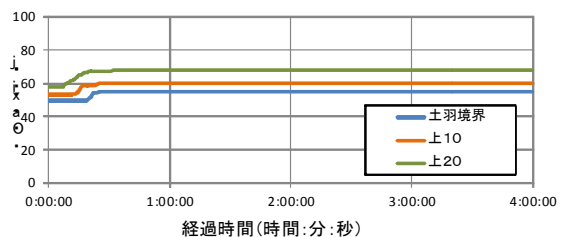


図3 のり尻付近の水位変化状況



(ケース1 : 20mm/h)



(ケース4 : 100mm/h)

図4 土羽部(のり尻側)の飽和度の変化状況

上 20cm 位置) を示す。ケース 1 の飽和度の変化を見ると、2 時間経過頃から急激に土羽との境界位置の飽和度が上昇し崩壊前には土羽全体の飽和度が 80% となっており、水位上昇の傾向と一致している。一方、ケース 4 を見るとほとんど飽和度の変化が見られない。なお、ケース 3 ではケース 1 でみられた崩壊時の急激な飽和度の上昇が砕石混合土上面で発生し、土羽と盛土本体との境界では飽和度の大きな変化は見られなかった。このことは、透水性に大きな差がある境界面が水位形成の要因となっていることを表しているものと考えられる。

これらの結果を踏まえると、ケース 4 は砕石を混合することで砕石のマルチング効果によりのり面からの浸透が抑制されるとともにのり表面の耐侵食性も向上したものと考ええる。ただし、のり尻付近でより水位上昇が生じた場合に崩壊性の変状が発生する可能性もあることから、ケース 2 のようにのり尻付近の排水対策を行うことが望ましいと考える。

今回の実験の範囲からは、張芝施工直後から根系の生育期間までの耐降雨性を確保するためののり面構造としては、ケース 2 とケース 4 との複合型としてのり尻部分に排水層を設けた全面砕石混合土で植生基盤を構築することで、耐降雨性が高くなるものと考ええる。

4. まとめ

(1) 根系の緊縛効果について

締固め度 90% でも、施工 1 年目の生育期 (約 6 か月間) で張芝の根の伸長はほぼ 30cm 程度となるが、毛細根の発達している範囲は深さ 15cm 程度であった。本実験の条件で根の伸長が期待できる土壌硬度となる深度はおおよそ 10~15cm 程度であり²⁾、これは毛細根の発達範囲とほぼ一致している。1 年目の芝の根系の生育状況を踏まえると、土羽厚 30cm では根系により土羽土と盛土本体の一体性を持たせることは困難と考える。

このため、砂質土のような侵食しやすい土質で土羽土を設ける場合、根系の発達する 15cm 程度以深を滑りにくい構造にする、あるいは根の伸長と毛細根の発達を考慮して土羽厚を 15cm 程度までとすることが考えられる。

一方で、本実験では砂質土で締固め度 90% の条件でも芝の根は十分に生育しており、この結果を踏まえると、土羽土を設けず削り取りでのり面整形を行うことによっても芝は十分に活着し侵食防止効果が

得られる可能性も考えられる。

(2) 補助工について

実験により、植生基盤としての土羽を構築する際、砕石排水層および砕石混合土を用いる簡便な補助工で、集中豪雨に対する耐降雨性が得られることが確認できた。

砕石排水層は、豪雨による表層崩壊に対する効果はあるが、流水が生じるような状況となった場合には侵食が生じるため、侵食に対する対応が必要である。

砕石混合土は、今回の実験では崩壊および侵食に対して最も効果がある結果であったが、のり尻付近の水位上昇が生じるような状況となった場合には、崩壊が生じる危険性もある。

これらの結果を踏まえると、砕石混合土を用いるとともにのり尻部には砕石排水層を設ける複合対策を行うことが望ましいと考える。

今後は、大型盛土での実験検証を行う予定である。

参考文献

- 1) (一社) 全国特定法面保護協会：「のり面緑化工の手引き」、p81、2006. 11
- 2) 加藤俊二、川添英生、佐々木哲也、相川淑紀：貫入土壌硬度計測によるのり面保護工背面地盤の簡易調査手法の検討 (その 1 : 器具の構造と調査方法)、地盤工学会 第 51 回地盤工学研究発表会、2016. 9
- 3) 加藤俊二、川添英生、佐々木哲也、小栗ひとみ：張芝の根系発達による土砂保持効果に関する模型実験、土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集、2017. 9
- 4) 加藤俊二、川添英生、佐々木哲也：盛土のり面の耐降雨性構造に関する模型実験、土木学会第 73 回年次学術講演会講演概要集、2018. 8 (投稿中)

RESEARCH ON STABILITY OF EMBANKMENT SLOPE WITH VEGETATION FOR CONCENTRATED HEAVY RAIN

Research Period : FY2015-2017

Research Team : Geology and Geotechnical
Engineering Research
Group(Soil Mechanics and
Dynamics)

Author : SASAKI Tetsuya

KATO Shunji

OGURI Hitomi

Abstract : This research was conducted to secure stability of embankment slope constructed with vegetation at surface for heavy rain. So we researched about the performance of the tight binding effect with soil by roots and supporting construction for the heavy rain during the period of growth of the root on the block sodding used as vegetation generally.

The results as follow:

- 1) It is necessary about 6 month of growing season to get the tight binding effect with soil by the roots on vegetation.
- 2) It is effective to use mixed rubble with soil and to make the drainage layer as a supporting construction during the period when roots do not grow enough.

Key words : concentrated heavy rain, slope protection by vegetation, growing season of roots, auxiliary measures